

Roberto Caldon

Fabio Bignucolo

IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

Criteria di scelta e dimensionamento



SOCIETÀ EDITRICE
ESCULAPIO



Indice

Sezione A

INTRODUZIONE AGLI IMPIANTI DI PRODUZIONE ELETTRICA

| | |
|---|----|
| ↳ Capitolo 1 Fabbisogno energetico e ruolo della produzione elettrica | 3 |
| 1.1 Energia e sviluppo economico..... | 3 |
| 1.2 Le fonti d'energia | 5 |
| 1.3 Struttura dei consumi energetici | 6 |
| ↳ Capitolo 2 La pianificazione e la gestione economica della produzione elettrica | 9 |
| 2.1 La pianificazione a lungo termine della produzione elettrica | 9 |
| 2.1.1 La previsione del carico..... | 10 |
| 2.1.2 Previsione del picco (massima potenza)..... | 12 |
| 2.1.3 Struttura ottimale di un parco di produzione elettrica..... | 15 |
| 2.1.4 Sistema di produzione con impianti anche diversi dai termoelettrici | 18 |
| 2.2 La gestione economica a breve termine della produzione elettrica..... | 20 |
| 2.2.1 Gestione centralizzata | 20 |
| 2.2.1.1 Caratteristiche delle unità termiche..... | 21 |
| 2.2.1.2 Il dispacciamento economico | 22 |
| 2.3 Gestione della produzione in un mercato competitivo..... | 26 |
| 2.3.1 Esempio di funzionamento del mercato elettrico..... | 27 |
| ↳ Capitolo 3 Tipologia delle centrali elettriche | 31 |
| 3.1 Generalità..... | 31 |
| 3.2 Configurazioni tipiche dello schema elettrico di centrale | 32 |
| 3.2.1 Configurazioni per centrali annesse ad impianti industriali in media tensione | 32 |
| 3.2.2 Configurazioni per centrali collegate alla rete AT | 34 |

Sezione B

IMPIANTI DI PRODUZIONE A FONTE RINNOVABILE

| | |
|---|----|
| ↳ Capitolo 4 Impianti idroelettrici | 39 |
| 4.1 Classificazione degli impianti idroelettrici | 39 |
| 4.2 Analisi idrologica | 40 |
| 4.2.1 Determinazione dei deflussi D | 41 |
| 4.2.2 Calcolo del valore degli afflussi A | 41 |
| 4.2.3 Anno tipico | 42 |
| 4.3 Valutazione della taglia più conveniente per un impianto ad acqua fluente | 44 |
| 4.4 Dimensionamento del serbatoio | 44 |
| 4.5 Elementi costitutivi di un impianto idroelettrico tipo | 46 |
| 4.5.1 Richiami di idraulica | 48 |
| 4.6 Transitori idraulici | 49 |
| 4.7 Transitorio idraulico del sistema galleria-pozzo piezometrico | 50 |
| 4.8 Criteri di scelta del pozzo piezometrico | 52 |
| 4.8.1 Volume minimo del pozzo piezometrico | 53 |
| 4.8.2 Vincoli dimensionali ai fini della stabilità del sistema | 53 |
| 4.8.3 Forme costruttive dei pozzi piezometrici | 54 |
| 4.9 Transitorio idraulico nelle condotte forzate | 56 |
| 4.10 Condotte forzate | 59 |
| 4.10.1 Caratteristiche delle condotte forzate | 59 |
| 4.10.2 Procedura di dimensionamento di una condotta | 60 |
| 4.10.3 Procedimento grafico per la determinazione della pressione di dimensionamento di ciascun tratto di condotta | 61 |
| 4.10.4 Spessori adottati per la condotta | 62 |
| 4.10.5 Valutazione dei costi di investimento e di esercizio della condotta | 62 |
| 4.10.6 Verifica di una condotta contro il rischio di schiacciamento | 63 |
| 4.10.7 Sollecitazione a flessione di una condotta | 64 |
| 4.10.8 Verifica della stabilità dei blocchi di ancoraggio | 64 |
| 4.10.9 Tipologie costruttive di condotte forzate | 65 |
| 4.11 Organi di intercettazione idraulica | 67 |
| 4.11.1 Paratoia piana | 68 |
| 4.11.2 Valvola a farfalla | 69 |
| 4.11.3 Valvola rotativa | 69 |
| 4.11.4 Valvola a fuso | 70 |
| 4.12 Le turbine idrauliche per grandi impianti | 71 |
| 4.12.1 Definizioni di base | 71 |
| 4.12.2 Richiami teorici | 72 |
| 4.12.3 Scelta del tipo di turbina | 73 |
| 4.12.4 Scelta della potenza più conveniente dei gruppi da installare nelle centrali | 75 |
| 4.12.5 Diagrammi collinari | 76 |
| 4.13 La cavitazione | 79 |
| 4.14 Turbine per impianti con caratteristiche particolari | 80 |
| 4.15 Impianti di accumulazione (pompaggio) | 82 |
| 4.15.1 Valutazione della convenienza a realizzare un impianto di pompaggio nel caso di spostamento di energia da base a punta | 82 |

| | |
|---|-----|
| 4.15.2 Disposizioni costruttive tipiche degli impianti di pompaggio..... | 84 |
| 4.15.2.1 Gruppi indipendenti..... | 84 |
| 4.15.2.2 Gruppi ternari..... | 85 |
| 4.15.2.3 Gruppi binari (macchine reversibili)..... | 86 |
| 4.15.3 Scelta del macchinario idraulico..... | 87 |
| 4.15.3.1 Dimensionamento della pompa di gruppi indipendenti o gruppi ternari..... | 87 |
| 4.15.3.2 Macchine reversibili per gruppi binari..... | 88 |
| 4.15.4 Problemi idraulici e di installazione per gli impianti di pompaggio..... | 90 |
| 4.15.5 Avviamento ed arresto dei gruppi di pompaggio..... | 93 |
| 4.16 Mini e micro idroelettrico..... | 97 |
| 4.16.1 Definizione..... | 97 |
| 4.16.2 Vantaggi della generazione a regime di rotazione variabile..... | 98 |
| 4.16.3 Tipologie di turbina..... | 99 |
| 4.16.3.1 Turbina mini-Pelton..... | 99 |
| 4.16.3.2 Turbina Turgo..... | 101 |
| 4.16.3.3 Turbina cross-flow e mini cross-flow..... | 101 |
| 4.16.3.4 Turbina Dive..... | 101 |
| 4.16.3.5 Coclea..... | 102 |
| 4.16.3.6 Turbina VLH (Very Low Head)..... | 103 |
| | |
| ↳ Capitolo 5 Impianti fotovoltaici..... | 105 |
| <hr/> | |
| 5.1 La fonte primaria solare..... | 105 |
| 5.1.1 Irraggiamento solare..... | 105 |
| 5.1.2 Traiettorie solari..... | 107 |
| 5.1.3 Radiazione solare..... | 108 |
| 5.2 La cella fotovoltaica..... | 111 |
| 5.3 I pannelli fotovoltaici..... | 114 |
| 5.4 Tipologie di impianto fotovoltaico..... | 117 |
| 5.5 Progettazione preliminare di un impianto fotovoltaico..... | 119 |
| 5.5.1 Potenza nominale dell'impianto..... | 122 |
| 5.5.2 Connessione alla rete pubblica..... | 122 |
| 5.5.3 Orientazione e inclinazione dei pannelli fotovoltaici..... | 122 |
| 5.5.4 Stima della producibilità unitaria..... | 123 |
| 5.5.5 Ombreggiamenti sistematici..... | 127 |
| 5.6 Convertitore statico (inverter)..... | 129 |
| 5.6.1 Configurazione del campo fotovoltaico e numero di inverter..... | 129 |
| 5.6.2 Dimensionamento dell'inverter..... | 131 |
| 5.7 Altre componenti di impianto..... | 134 |
| 5.7.1 Limitazione degli effetti negativi causati dall'ombreggiamento..... | 134 |
| 5.7.2 Realizzazione delle stringhe fotovoltaiche..... | 134 |
| 5.7.3 Diodi di blocco..... | 135 |
| 5.7.4 Cavi di collegamento..... | 136 |
| 5.7.5 Protezioni..... | 136 |
| 5.8 Monitoraggio degli impianti fotovoltaici..... | 138 |
| 5.9 Impatto della generazione fotovoltaica sulla rete..... | 139 |

| | |
|--|-----|
| ↳ Capitolo 6 Impianti eolici | 141 |
| 6.1 Sfruttamento della risorsa eolica | 141 |
| 6.1.1 Caratterizzazione della fonte eolica | 143 |
| 6.1.2 Distribuzione statistica di Weibull | 144 |
| 6.2 Tipologie di impianto eolico | 144 |
| 6.2.1 Classificazione per taglia | 144 |
| 6.2.2 Classificazione per tipologia di conversione eolico-meccanica | 145 |
| 6.2.3 Classificazione per tipologia di rotore | 145 |
| 6.2.4 Classificazione per metodo di controllo della potenza massima | 149 |
| 6.2.5 Classificazione per destinazione d'uso | 149 |
| 6.3 Conversione di energia eolica-meccanica | 150 |
| 6.3.1 Teoria di Betz | 151 |
| 6.4 Conversione di energia meccanica-elettrica | 154 |
| 6.4.1 Sistemi a velocità variabile con moltiplicatore di giri (DFIG) | 154 |
| 6.4.2 Sistemi a velocità variabile di tipo Direct Drive | 156 |
| 6.5 Limiti allo sviluppo della fonte eolica | 157 |
| 6.5.1 Necessaria caratterizzazione del sito | 157 |
| 6.5.2 Tempo di ritorno dell'investimento ed esposizione finanziaria | 158 |
| 6.5.3 Occupazione del suolo | 158 |
| 6.5.4 Impatto visivo e acustico | 159 |
| 6.5.5 Interferenze con la fauna locale | 160 |
| 6.5.6 Impatto sulla rete elettrica | 161 |

Sezione C

IMPIANTI DI PRODUZIONE A FONTE FOSSILE

| | |
|---|-----|
| ↳ Capitolo 7 Impianti termoelettrici | 167 |
| 7.1 Impianti con turbina a vapore | 167 |
| 7.1.1 Localizzazione dei siti di produzione | 167 |
| 7.1.2 Estensione dei siti di produzione | 168 |
| 7.1.3 Disposizione dei componenti dell'impianto (plant layout) | 169 |
| 7.1.3.1 Disposizione delle opere di presa e restituzione dell'acqua di raffreddamento | 169 |
| 7.1.3.2 Disposizione dello stoccaggio del combustibile (parco combustibile) | 170 |
| 7.1.3.3 Disposizione dei vari circuiti costitutivi del funzionamento dell'impianto | 171 |
| 7.1.4 Disposizione dei macchinari (layout della sala macchine) | 172 |
| 7.1.4.1 Disposizione longitudinale | 172 |
| 7.1.4.2 Disposizione ad assi paralleli (trasversali) | 172 |
| 7.1.4.3 Disposizione ad assi inclinati | 173 |
| 7.2 Trasformazioni energetiche in un impianto termoelettrico | 173 |
| 7.3 Cicli termici nel circuito acqua-vapore | 174 |
| 7.3.1 Richiami sui cicli termici | 174 |
| 7.3.1.1 Ciclo di Carnot | 174 |
| 7.3.1.2 Ciclo di Rankine | 175 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 7.3.1.3 | Perfezionamenti del ciclo di Rankine tramite surriscaldamento | 176 |
| 7.3.1.4 | Perfezionamenti del ciclo di Rankine tramite risurriscaldamento | 177 |
| 7.3.1.5 | Perfezionamenti del ciclo di Rankine tramite surriscaldamento e rigenerazione termica | 177 |
| 7.3.1.6 | Perfezionamenti del ciclo di Rankine a pressione ipercritica | 179 |
| 7.4 | Il generatore di vapore | 181 |
| 7.4.1 | Dati nominali del generatore di vapore | 181 |
| 7.4.2 | Modellazione dello scambio termico | 182 |
| 7.4.3 | Costruzione del generatore di vapore e zone tipiche | 183 |
| 7.4.4 | Schemi funzionali delle varie tipologie di caldaia in relazione alle modalità di circolazione | 185 |
| 7.4.4.1 | Caldaia a circolazione naturale | 185 |
| 7.4.4.2 | Caldaia a circolazione assistita | 186 |
| 7.4.4.3 | Caldaia a circolazione forzata | 187 |
| 7.4.4.4 | Caldaia a circolazione combinata | 188 |
| 7.4.5 | Aspetti costruttivi della caldaia | 188 |
| 7.5 | La turbina a vapore | 190 |
| 7.5.1 | Scelta della velocità di rotazione | 190 |
| 7.5.2 | Scelta della disposizione | 192 |
| 7.5.3 | Definizione di potenza della turbina | 194 |
| 7.6 | Il condensatore | 195 |
| 7.7 | Trattamento dell'acqua di reintegro | 198 |
| 7.7.1 | Trattamenti | 198 |
| 7.7.1.1 | Reazioni con resine cationiche | 199 |
| 7.7.1.2 | Reazioni con resine anioniche | 199 |
| 7.8 | Le pompe di alimento | 200 |
| 7.8.1 | Costruzione delle pompe di alimento | 202 |
| 7.9 | I riscaldatori dell'acqua di alimento | 204 |
| 7.10 | Il degasatore | 206 |
| 7.11 | Il circuito combustibile/aria-fumi | 207 |
| 7.12 | Combustibili e relativi circuiti | 208 |
| 7.12.1 | Combustibile solido (carbone) | 208 |
| 7.12.2 | Combustibile liquido | 210 |
| 7.12.3 | Combustibile gassoso (gas naturale) | 211 |
| 7.13 | La combustione | 212 |
| 7.13.1 | Calcolo delle emissioni | 212 |
| 7.13.1.1 | Calcolo dell'ossigeno teorico | 212 |
| 7.13.1.2 | Calcolo della quantità di aria di alimento | 213 |
| 7.13.1.3 | Calcolo della portata dei fumi in uscita dalla caldaia | 214 |
| 7.14 | Dimensionamento della camera di combustione | 215 |
| 7.15 | I bruciatori | 217 |
| 7.16 | Altri componenti del circuito aria-fumi | 218 |
| 7.16.1 | Ventilatori | 219 |
| 7.16.2 | Riscaldatori d'aria a vapore (RAV) | 220 |
| 7.16.3 | Riscaldatori d'aria (RA) | 220 |
| 7.16.4 | Ventilatori di ricircolo | 221 |
| 7.17 | Il trattamento dei fumi | 222 |
| 7.18 | Sistemi di abbattimento del particolato solido (polveri sospese trasportate) | 222 |
| 7.18.1 | Precipitatori meccanici | 223 |
| 7.18.2 | Filtri a tessuto (o a manica) | 223 |

| | |
|---|-----|
| 7.18.3 Precipitatori elettrostatici | 224 |
| 7.19 La desolforazione delle emissioni | 230 |
| 7.19.1 Desolforazione prima della combustione | 230 |
| 7.19.2 Desolforazione durante la combustione | 230 |
| 7.19.3 Desolforazione dopo la combustione | 230 |
| 7.19.3.1 Processo a umido non rigenerativo, con recupero, a calce/calcare | 231 |
| 7.19.3.2 Processo a umido non rigenerativo, con recupero, con ammoniacca (processo Walther) | 233 |
| 7.19.3.3 Processo a umido rigenerativo, con recupero, con bisolfito sodico (processo Wellman-Lord) | 234 |
| 7.19.3.4 Processo a semi-secco, senza recupero, con calcare/calce (processo spray-dry) | 236 |
| 7.20 La denitrificazione | 237 |
| 7.21 Il camino | 238 |
| 7.22 Ordine dei dispositivi nel circuito aria-fumi | 239 |
| 7.23 Sistemi di raffreddamento | 240 |
| 7.23.1 Sistemi a ciclo aperto | 240 |
| 7.23.2 Sistemi a ciclo chiuso | 241 |
| 7.23.2.1 Torre di raffreddamento ad evaporazione | 241 |
| 7.23.2.2 Torre di raffreddamento a scambiatore | 241 |
| 7.24 Fondazioni e vibrazioni dei gruppi turbina-generatore | 242 |
| 7.24.1 Analisi delle ripercussioni dell'eccentricità sull'albero del gruppo | 243 |
| | |
| ↪ Capitolo 8 Impianti turbogas, ciclo combinato e speciali | 245 |
| <hr/> | |
| 8.1 Impianti termoelettrici a turbogas | 245 |
| 8.1.1 Possibili miglioramenti al ciclo di Brayton elementare | 247 |
| 8.2 Impianti a ciclo combinato | 248 |
| 8.2.1 Ciclo combinato Unfired | 249 |
| 8.2.2 Ciclo combinato Fully-fired | 250 |
| 8.3 Impianti speciali | 252 |
| 8.3.1 Combustione a letto fluido (Fluidized Bed Combustion FBC) | 252 |
| 8.3.2 Impianti IGCC (Cicli Combinati con Gassificazione Integrata) | 254 |
| | |
| ↪ Capitolo 9 Impianti nucleari | 255 |
| <hr/> | |
| 9.1 Richiami di fisica nucleare | 256 |
| 9.1.1 Struttura dell'atomo e del nucleo | 256 |
| 9.1.2 Radioattività | 258 |
| 9.1.2.1 Decadimento Beta | 258 |
| 9.1.2.2 Decadimento Beta+ (positrone) | 258 |
| 9.1.2.3 Decadimento Alfa | 259 |
| 9.1.2.4 Decadimento Gamma | 259 |
| 9.1.2.5 Decadimento radioattivo | 259 |
| 9.1.2.6 Reazioni nucleari | 260 |
| 9.1.2.7 Reazioni neutroniche | 260 |
| 9.1.3 Sezione d'urto per le reazioni nucleari | 261 |
| 9.2 Il processo di fissione | 263 |

| | |
|--|-----|
| 9.3 Nuclei fertili | 266 |
| 9.4 La reazione a catena | 267 |
| 9.4.1 Bilancio dei neutroni | 267 |
| 9.4.2 Moderazione dei neutroni | 270 |
| 9.5 Elementi di fisica del reattore | 272 |
| 9.5.1 Il reattore come sorgente di calore..... | 272 |
| 9.5.2 Il controllo della reazione a catena | 274 |
| 9.5.3 Azione avvelenante dei prodotti di fissione..... | 276 |
| 9.6 Impianti nucleari di potenza..... | 277 |
| 9.6.1 Combustibile | 277 |
| 9.6.2 Moderatore | 280 |
| 9.6.3 Riflettore..... | 281 |
| 9.6.4 Fluido termovettore | 281 |
| 9.6.5 Fluido motore | 282 |
| 9.6.6 Organi di controllo | 282 |
| 9.6.7 Organi strutturali | 282 |
| 9.6.8 Schermatura..... | 282 |
| 9.7 Tipi di reattori..... | 284 |
| 9.8 Reattori moderati ad acqua leggera (LWR) | 285 |
| 9.8.1 Reattori ad Acqua in Pressione (PWR)..... | 286 |
| 9.8.2 Reattori ad acqua bollente (BWR) | 290 |
| 9.9 Reattori moderati ad acqua pesante (HWR) | 293 |
| 9.9.1 Reattori CANDU (PHWR)..... | 293 |
| 9.10 Reattori moderati a grafite | 297 |
| 9.10.1 Reattori Magnox..... | 297 |
| 9.10.2 Reattori AGR | 298 |
| 9.11 Reattori veloci..... | 300 |
| 9.11.1 Autofertilizzazione (breeding) | 300 |
| 9.11.2 Costruzione di un reattore veloce..... | 301 |

Sezione D

SISTEMI AUSILIARI DI CENTRALE

| | |
|--|-----|
| ↳ Capitolo 10 Alimentazione dei servizi ausiliari nelle centrali elettriche | 305 |
| 10.1 Classificazione dei servizi ausiliari | 305 |
| 10.2 Servizi ausiliari in corrente alternata..... | 305 |
| 10.2.1 Schema generale in corrente alternata | 305 |
| 10.2.2 Servizi ausiliari alimentati in corrente alternata nelle centrali idroelettriche..... | 308 |
| 10.2.3 Servizi ausiliari alimentati in corrente alternata nelle grandi centrali termoelettriche..... | 309 |
| 10.3 Servizi ausiliari in corrente continua..... | 310 |
| 10.3.1 Batterie per l'alimentazione dei servizi ausiliari in corrente continua..... | 313 |
| 10.3.2 Apparecchiatura per la carica degli accumulatori | 314 |
| 10.3.3 Dimensionamento della batteria..... | 317 |

| | |
|--|-----|
| ↳ Capitolo 11 Regolazione di frequenza e potenza attiva | 319 |
| <hr/> | |
| 11.1 Schema funzionale della regolazione di frequenza e potenza attiva | 319 |
| 11.2 Blocco generatore | 320 |
| 11.3 Sistema di adduzione-turbina negli impianti idroelettrici | 322 |
| 11.3.1 Approssimazione di media frequenza | 322 |
| 11.3.2 Approssimazione di alta frequenza | 324 |
| 11.3.3 Analisi delle funzioni di trasferimento | 325 |
| 11.4 Regolatori per turbine idrauliche | 328 |
| 11.4.1 Regolatore tachoaccelerometrico | 329 |
| 11.4.2 Regolatore a retroazione transitoria (o ad asservimento cedevole) | 329 |
| 11.5 Il sistema adduzione turbina negli impianti termoelettrici | 331 |
| 11.5.1 Funzione di trasferimento complessiva adduzione-turbina a vapore | 336 |
| 11.6 Regolatori di velocità per gruppi termoelettrici | 337 |
| | |
| ↳ Capitolo 12 Regolazione della tensione | 339 |
| <hr/> | |
| 12.1 Sistemi di eccitazione | 340 |
| 12.2 Tipi di eccitrici | 341 |
| 12.3 Sistemi rotanti con macchine in corrente continua | 342 |
| 12.3.1 Dinamo eccitatrice | 342 |
| 12.3.2 Amplidina | 343 |
| 12.4 Sistemi rotanti con macchine in corrente alternata | 344 |
| 12.4.1 Sistemi a raddrizzatori stazionari | 344 |
| 12.4.2 Sistemi a raddrizzatori rotanti (brushless) | 345 |
| 12.5 Sistemi statici | 345 |
| 12.6 Grandezze caratteristiche di un sistema di eccitazione | 350 |
| 12.7 Modelli rappresentativi dei sistemi di regolazione della tensione | 352 |
| 12.7.1 Sistemi basati su eccitazione rotante | 352 |
| 12.7.2 Sistemi basati su eccitazione statica | 353 |
| | |
| ↳ Capitolo 13 Sistema di protezione degli impianti di produzione | 355 |
| <hr/> | |
| 13.1 Introduzione | 355 |
| 13.2 Richiami sui relè di protezione | 356 |
| 13.3 Blocchi | 359 |
| 13.3.1 Blocco termico | 359 |
| 13.3.2 Scatto turbina | 360 |
| 13.3.3 Blocco elettrico | 361 |
| 13.4 Protezione del generatore | 362 |
| 13.4.1 Sistemi di protezione per guasti interni ai generatori | 364 |
| 13.4.1.1 Protezione di massima corrente ad azione istantanea (codice 50) | 364 |
| 13.4.1.2 Protezione differenziale del generatore (codice 87G) | 365 |
| 13.4.1.3 Relè a minima impedenza (codice 21) | 367 |
| 13.4.1.4 Protezione di terra statorica (codice 64S) | 369 |
| 13.4.1.5 Protezione contro i cortocircuiti tra le spire di una stessa fase | 371 |
| 13.4.2 Sistemi di protezione per guasti esterni ai generatori | 371 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 13.4.2.1 | Protezione di massima corrente ad azione ritardata (codice 51) | 372 |
| 13.4.2.2 | Protezione distanziometrica (codice 121G) | 372 |
| 13.4.3 | Sistemi di protezione per funzionamenti anomali | 373 |
| 13.4.3.1 | Protezione di massima tensione (codice 59) | 373 |
| 13.4.3.2 | Protezione di minima tensione (codice 27) | 373 |
| 13.4.3.3 | Protezione contro la perdita di campo (codice 40) | 373 |
| 13.4.3.4 | Protezione di massimo flusso (codice 59F) | 375 |
| 13.4.3.5 | Protezione contro i carichi squilibrati (codice 46) | 375 |
| 13.4.3.6 | Protezione di terra rotorica (codice 64R) | 377 |
| 13.4.3.7 | Protezione contro la velocità di fuga | 377 |
| 13.4.3.8 | Protezione contro frequenza ridotta (codice 81) | 377 |
| 13.4.3.9 | Protezione contro la perdita di passo (codice 98) | 378 |
| 13.5 | Protezione dei trasformatori | 380 |
| 13.6 | Protezione del gruppo elettrico | 381 |
| 13.6.1 | Gruppi di grande e grandissima potenza | 381 |
| 13.6.2 | Gruppi di media e piccola potenza | 383 |

Sezione E

ESERCITAZIONI

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Esercitazione 1 | Esempio di dispacciamento economico per un sistema monobarra con tre unità | 387 |
| | Dati in input | 387 |
| | Risoluzione col il metodo dei moltiplicatori di Lagrange | 387 |
| Esercitazione 2 | Dimensionamento di un impianto idroelettrico | 389 |
| | Dati in input | 389 |
| | Considerazioni preliminari | 390 |
| | Scelta della turbina | 391 |
| | Scelta dei generatori | 392 |
| | Schema elettrico complessivo di centrale | 395 |